UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

L'APPLICATION DES SYSTÈMES EXPERTS DANS LA GESTION DES CHAUSSÉES

par

Michalis Pehlivanidis

CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS

CASE POSTALE 6128, SUCCURSALE A, MONTRÉAL, QUÉBEC, H3C 3J7

L'APPLICATION DES SYSTÈMES EXPERTS DANS LA GESTION DES CHAUSSÉES

par

Michalis Pehlivanidis

Cette étude a été publiée grâce à une subvention du fonds F.C.A.R. pour l'aide et le soutien à la recherche.

Université de Montréal
Centre de recherche sur les transports - Publication #497
Septembre 1986

Dépôt légal - 4e trimestre 1986

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1. INTRODUCTION	1
1.1 Contexte et objectifs	1
1.2 Approche	2
2. SYSTÈMES EXPERTS ET BASES DE CONNAISSANCES	4
2.1 Systèmes experts	4
2.2 Bases de connaissances	5
2.3 Exemples de systèmes experts	6
3. COMMENT CHOISIR DES BONNES APPLICATIONS	8
3.1 L'atelier de Transports Canada	8
3.2 Yeh, et al.	9
3.3 Synthèse et discussion	11
4. SYSTÈMES EXPERTS POUR LA GESTION DES CHAUSSÉES	13
4.1 Principaux secteurs d'activité de gestion des chaussées	13
4.2 Champs d'applicabilité des systèmes experts	16
4.2.1 Planification et Programmation	16
4.2.2 Design	19
4.2.3 Construction	22
4.2.4 Entretien	24
4.2.5 Evaluation	26
5. CONCLUSIONS	29
LISTE DES RÉFÉRENCES	30
ANNEXE A : Unités administratives impliquées dans la gestion des chaussées	32
ANNEXE B : Essai préliminaire d'un système expert pour diagnostiquer les causes des dégradations superficielles des chaussées flexibles.	34

1. INTRODUCTION

1.1 Contexte et objectifs

Issus de concepts et développements d'intelligence artificielle, les systèmes experts représentent des approches vers des outils informatiques permettant l'emmagasinage et le traitement efficaces des connaissances. Bien que les possibilités offertes par les systèmes experts soient actuellement limitées, la recherche dans le domaine de leur application est encouragée dans divers secteurs dont celui des transports [1].

C'est dans ce contexte que Transports Canada organisait en septembre 1985 à Montréal un atelier sur les systèmes experts et sur les perspectives de leur application dans le domaine des transports. Un des principaux thèmes abordés lors de l'atelier fut celui des critères à utiliser pour choisir des applications appropriées. Ce thème a été repris par la suite dans un rapport préparé pour Transports Canada qui a utilisé ces critères pour identifier un nombre de projets de systèmes experts dans le secteur des transports [2]. Compte tenu de l'étendue du secteur des transports certains sujets n'ont reçu qu'une attention sommaire. C'est notamment, parmi bien d'autres, le cas de la gestion routière. Le présent rapport est en ce sens complémentaire au rapport de Transports Canada puisqu'il couvre les possibilités d'application des systèmes experts dans la gestion des chaussées.

Le caractère décentralisé des activités de gestion des chaussées font de ce secteur un champ à priori intéressant pour l'application des systèmes experts. Cette application est d'autant plus justifiée si l'on considère que l'offre d'experts en conservation du réseau routier est en décroissance, certaines sources indiquant que dans les dix prochaines années le tiers d'ingénieurs dans ce domaine prendraient leur retraite [3].

Toutefois la demande pour des experts dans ce domaine pourrait bien s'accentuer davantage si on procédait à une plus grande décentralisation, par exemple, par un transfert des responsabilités routières vers les municipalités régionales de comté.

Dans le cadre d'une initiative couvrant plusieurs aspects de la gestion routière, le Centre de recherche sur les transports de l'Université de Montréal a entrepris des travaux de recherche visant à mieux circonscrire le potentiel d'application des systèmes experts dans la gestion des chaussées. L'objectif de cet effort, dont ce rapport fait état, était d'identifier d'une façon préliminaire, des activités qui dans le domaine de la gestion des chaussées nécessitent le recours à des experts et qui bénéficieraient donc du développement d'un système expert.

1.2 Approche

Afin d'identifier d'une façon systématique des activités qui pourraient faire des applications intéressantes la démarche poursuivie consistait en trois étapes:

- rechercher des critères pour évaluer l'applicabilité des systèmes experts et en faire la synthèse;
- énumérer et décrire brièvement les principales activités de gestion des chaussées; et
- faire le rapport entre les activités et les critères.

Les documents [1,2] de Transports Canada déjà mentionnés et un rapport par Yeh et al. sur l'application des systèmes experts pour la planification et la recherche des transports [4] ont servi comme principales sources de critères d'applicabilité des systèmes experts dans le secteur des transports. Des références additionnelles [5,6] ont contribué à faire la synthèse de divers critères rencontrés dans la littérature consultée.

La liste des activités de gestion des chaussées provient du "Guide de gestion routière" [7]. Le "Guide" est considéré comme le document le plus complet sur la pratique de gestion des chaussées au Canada. En plus, le rapport 215 du National Cooperative Highway Research Program [8] sur le même sujet a servi comme référence complémentaire.

En utilisant les critères retenus, les diverses activités de gestion des chaussées ont été triées selon l'opportunité d'en faire une application des systèmes experts. Les activités se conformant aux exemples actuels d'application des systèmes experts ont été retenues pour considération et discussion.

Le présent rapport contient cinq sections. La deuxième section présente très brièvement les systèmes experts et les bases de connaissances dans le but d'introduire les nouveaux concepts et le vocabulaire du domaine. La troisième section fait la synthèse de différents critères à utiliser pour choisir une application des systèmes experts. La quatrième section décrit les principales activités de la gestion des chaussées et présente un nombre d'activités appropriées susceptibles de bénéficier d'une application des systèmes experts. Dans les conclusions, à la cinquième section, on retrouve les applications qu'il serait possible et souhaitable de développer dans le domaine de la gestion routière.

2. SYSTÈMES EXPERTS ET BASES DE CONNAISSANCES

2.1 Systèmes experts

Les systèmes experts sont des programmes informatiques dont le but est de répondre dans des domaines bien délimités de connaissances à des problèmes généralement considérés comme complexes et difficiles, et dont la performance se compare avec celle d'experts du domaine.

Une des caractéristiques marquantes d'un système expert est la séparation dans son architecture entre les connaissances et le programme qui les utilise dans la solution d'un problème donné. Ainsi dans un système expert on peut distinguer:

- la base de connaissances, qui contient l'ensemble des informations spécifiques au domaine d'expertise;
- la base de faits, qui contient les données du problème à résoudre;
- le moteur d'inférence: un programme qui sélectionne, valide et déclenche l'utilisation des connaissances et des heuristiques appropriés (contenus dans la base de connaissance) pour résoudre le problème spécifié par les données (contenues dans la base de faits).

Tsiang et Frasson [5] énumèrent d'autres caractéristiques qui servent à mieux saisir la nature des systèmes experts. Mentionnons en particulier la spécialisation de ces programmes dans des domaines de connaissances bien délimités et bien restreints, la capacité d'expliquer leurs conclusions, que leur performance est directement reliée à la qualité et le volume de leur base de connaissances et finalement que leur conception et développement présuppose l'existence d'une expertise reconnue.

La conception des systèmes experts nécessite donc la participation active d'un ou des plusieurs experts qui s'entendent entre eux sur la ou les approches à suivre dans la résolution de problèmes du domaine. L'expert est, normalement, une personne qui connaît le domaine pour l'avoir pratiqué pendant plusieurs années et qui réunit une bonne connaissance théorique avec une grande expérience pratique [9]. La prise d'expertise a donné naissance à un nouveau métier celui de l'ingénieur de la connaissance. En collaboration avec l'expert, il conçoit la structure et le contenu de la base de connaissances.

2.2 Base de connaissances

Le type de savoir que contient une base de connaissances est spécifique et pourrait être descriptif (certain ou incertain) ou prescriptif. Dans le premier cas on retrouve les relations causales et les hiérarchies de classification du domaine d'expertise. Dans le deuxième cas sont compris les différents heuristiques et procédures propres au domaine. Les exemples suivants du domaine de gestion des chaussées illustrent cette typologie.

. Relations causales:
  . "Une chaussée pas entretenue se détériore" (certain)
  . "Une amélioration du drainage améliore la capacité structurale de la chaussée" (incertain)

. Hiérarchies de classification:
  . "le revêtement fait partie de la chaussée"
  . "le scellement des fissures est une technique d'entretien préventif"

. Heuristiques et procédures:
  . "Si la dégradation de surface de la chaussée est fissuration transversale et il n'y a pas de fissuration secondaire alors le correctif indiqué est scellement des fissures".

La constitution d'une base de connaissances nécessite donc des recherches qui visent à répertorier les termes propres au domaine d'expertise, à identifier des relations de type ensembliste ou hiérarchique entre ces termes, à identifier les structures logiques types (i.e. les syllogismes), à vérifier si une notion de vraissemblance intervient dans le raisonnement et à choisir les formalismes qui permettent de mieux représenter les connaissances [10,11].

Parmi les différentes représentations de connaissances les règles de production sont les plus utilisées. Elles prennent la forme SI-ALORS et elles se composent de conditions (SI) et de conclusions (ALORS). Lors d'une consultation un interprète de règles utilisant un mode de validation par chaînage arrière compare la portion ALORS avec les informations et les autres données entrées par l'usager. La validation des règles peut soit modifier la base de faits comme, par exemple, ajouter un nouveau fait, soit trouver une conclusion à la question. Dans un système expert les différentes règles sont interprétées de façon à constituer un réseau de connaissances. Plusieurs réseaux interreliés dans un ensemble constituent la base de connaissances.

2.3 Exemples de systèmes experts

Le premier système expert est DENDRAL qui a été développé en 1965 à l'Université de Stanford pour faire l'interprétation de spectrogrammes en chimie organique. MACSYMA, le deuxième plus vieux système expert date de 1968. Il a été développé à MIT pour résoudre des problèmes mathématiques tels que l'intégration indéfinie. Un autre système expert parmi les premiers, PROSPECTOR, développé par SRI International a déjà fait ses preuves dans le domaine de prospection géologique en identifiant l'endroit précis d'un riche gisement de molybdenium.

Le système expert possiblement le plus connu est MYCIN développé aussi à l'Université de Stanford dans le domaine médical pour le diagnostic de maladies infectieuses du sang. "La compétence de MYCIN, fondée sur l'expérience de spécialistes des maladies infectieuses, enrichie de données empruntées à la littérature récente, testée sur des centaines de dossiers hospitaliers, et constamment tenue à jour, dépasse celle de beaucoup de praticiens" [12].

La démarche diagnostic, au sens large, est paraît-il un champ privilégié d'application de systèmes experts. A l'extérieur du domaine médical on peut retrouver des systèmes experts pour diagnostiquer les pannes de moteurs ou d'ordinateurs. Aussi, on étudie le développement des systèmes experts pour assurer la surveillance de centrales nucléaires.

L'application des systèmes experts en tant que conseillers ou concepteurs (par opposition aux diagnosticiens) compte des systèmes pour déterminer la configuration optimale d'une installation informatique (un microprocesseur), pour aider la recherche pétrolière, pour l'identification et la classification des molécules, etc. On entrevoit également des applications dans les domaines de l'économie, de la finance (évaluation du risque dans l'attribution du crédit), du droit et des transports, entre autres.

3. COMMENT CHOISIR DES BONNES APPLICATIONS

3.1 L'atelier de Transports Canada [1]

Un des buts de l'atelier que Transports Canada a organisé en septembre 1985 à Montréal était d'élaborer des critères pour choisir des applications-cibles dans les transports. L'autre but était de sensibiliser les participants aux concepts des systèmes experts. Les participants ont formé trois groupes pour discuter respectivement des applications en planification, en maintenance et aux opérations des systèmes de transport. A la fin de l'atelier, les sept critères suivants ont été compilés et retenus:

1. L'application à développer devrait être bien définie. Il faudrait chercher à résoudre par des systèmes experts des problèmes compris et couramment résolus par les experts. Les systèmes experts ne peuvent pas résoudre des problèmes dont on ignore la structure de la solution.
2. L'application devrait apporter des bénéfices importants et quantifiables.
3. L'application ne doit pas être ni triviale ni intractable avec les moyens disponibles. Dans ce contexte il faudrait miser des applications pour résoudre des problèmes qui exigent à un expert entre quelques heures et quelques jours.
4. Il faudrait concevoir un produit à livrer aux clients éventuels. En ce sens, il faudrait éviter le développement d'un autre outil de recherche.
5. Il faudrait éviter le développement des systèmes experts pour résoudre des problèmes efficacement résolus par méthodes algorithmiques.
6. Les systèmes à développer devraient utiliser des bases de connaissances
7. Les problèmes des transports à résoudre devraient se présenter assez fréquemment.

On peut constater que les critères 2, 4, 5 et 7 visent la rentabilité ou l'efficacité de l'application et en celà sont applicables aussi bien aux systèmes experts qu'au développement d'autres types de systèmes. Le critère numéro 6 n'apporte pas des précisions puisque par définition les systèmes experts reposent sur, contiennent et utilisent des bases de connaissances.

Parmi les sept critères, seuls les numéros 1 et 3 apportent des balises particulières. Le premier exige l'existence (comme condition nécessaire préalable à toute application) d'un expert en fonction. Le deuxième précise l'ampleur des problèmes possibles à résoudre par les moyens d'aujourd'hui: il s'agit de problèmes nécessitant normalement un travail d'expert qui prend entre quelques heures et quelques jours.

Notons, que le groupe sur les opérations a avancé un nombre d'autres critères dont les suivants. Il faudrait selon eux chercher des applications dans des domaines où :

- l'expertise canadienne jouit d'un avantage comparé au niveau international
- l'expertise est en voie de disparition (les experts prennent leur retraite)
- l'expert doit travailler en environnement hostile ou éloigné

3.2 Yeh, et al. [4]

Le papier des Yeh, Ritchie, Schneider et Nihan aborde aussi le potentiel d'applicabilité des systèmes experts au secteur des transports. Plusieurs possibilités sont avancées dans les domaines du design, de la planification, des opérations et de l'entretien. Neuf critères sont identifiés pour guider l'évaluation des applications potentielles. Selon ces critères les systèmes experts sont particulièrement appropriés dans les situations où:

1. Les solutions algorithmiques ne sont pas applicables car les problèmes en question impliquent des dimensions sociales, politiques et matérielles d'une complexité prohibitive à une description précise et une analyse déterministe.
2. On anticipe des données erronées ou incomplètes dans la résolution d'un problème.
3. L'ampleur de connaissances nécessaires pour résoudre les problèmes est si appréciable qu'elle exige constamment le recours à des manuels techniques, des ordinateurs et d'autres sources de références spécialisées.
4. La façon de poser le problème change souvent afin de s'adapter à la dynamique avec laquelle les conditions extérieures évoluent.
5. La situation nécessite des réponses à "temps réel" à des questions où la solution algorithmique exige un temps ou des ressources prohibitifs.
6. Le problème est important à tel point qu'on ne peut pas tolérer les conséquences d'une erreur dans l'avis de l'expert.
7. Le transfert des connaissances dans le domaine est problématique à cause d'une pénurie d'experts ou parce qu'il coûterait trop cher ou parce qu'il prendrait trop de temps.
8. L'expert ne peut pas être disponible au moment ou à l'endroit où le problème se manifeste.
9. Les personnes intéressées à acquérir une expertise dans le domaine ne peuvent pas le faire parce que cette expertise n'est pas disponible publiquement (par exemple, décrite dans des livres ou des publications). Ces connaissances ne sont détenues que par des experts.

Les deux premiers critères indiquent que les problèmes à considérer pour des applications des systèmes experts devraient être du type qui exige un jugement pour choisir sa méthode de résolution et pour assurer la validité de ses données. Le troisième critère signifie que la où il s'agit de se référer souvent à des sources de connaissance (livres, manuels, etc.), on a l'avantage de le faire par la machine via un système expert.

Les critères 4, 5 et 6 décrivent des situations qui en plus d'exiger le recours à un expert nécessitent aussi une réponse immédiate ou une réponse dans un temps raisonnable ou encore une réponse absolument infaillible. Les trois derniers critères se réfèrent simplement à l'offre de l'expertise.

3.3 Synthèse et discussion

Les divers critères rencontrés dans les deux documents cités peuvent se classer dans trois catégories: ceux qui caractérisent le contenu de l'expertise, ceux relatifs à l'offre de l'expertise et ceux qui déterminent la rentabilité de l'application. Les trois sont évidemment interreliées et un critère pourrait appartenir à plus d'une catégorie.

Pour que l'application ne soit pas vide de contenu il lui faut pouvoir simuler le jugement d'un expert dans un champ d'expertise donné. Ce jugement pourrait porter sur les données et les informations concernant le problème. Il pourrait aussi porter sur l'approche pour sa résolution ou encore sur la validité de la solution obtenue.

L'offre restreinte de l'expertise est la motivation principale pour le développement des systèmes experts. Cette offre est limitée dans diverses situations qui par ce fait deviennent des endroits privilégiés d'application des systèmes experts. Les critères ci-haut ont décrit plusieurs situations représentatives dans ce contexte: les experts d'un domaine prendraient bientôt leur retraite; l'offre d'experts est limitée parce qu'il

faut travailler dans un environnement hostile ou éloigné, ou encore parce que la demande se manifeste à plusieurs endroits en même temps. L'offre se limite davantage si on exige une expertise infaillible, à toute épreuve et rapide.

La rentabilité de l'application repose tout d'abord sur le rapport entre l'offre et la demande pour l'expertise. Elle dépend également sur les possibilités de substituer et de surpasser l'expert humain par la création d'immenses bases de connaissances spécialisées et de rendre rapides, infaillibles et compréhensives les inférences informatiques. La rentabilité de l'application accroît dans la mesure où l'expertise détienne un avantage comparé (ex.: particularité canadienne) ou le problème à résoudre est important, fréquemment rencontré, etc.

Le regroupement de critères d'applicabilité des systèmes experts dans les trois catégories ci-haut suggère l'approche suivante pour chercher des applications-cibles dans un domaine d'intérêt. Ayant tout d'abord recensé les activités du domaine on ne retient, dans un premier temps, que celles qui nécessitent dans leur exercice l'application de jugement technique avancé. Parmi ces dernières on choisit celles pour lesquelles l'offre d'experts est restreinte à cause des divers facteurs tels que ceux mentionnés plus haut. Les activités qui restent offrent un potentiel pour l'application des systèmes experts. La rentabilité de ces applications peut alors être estimée par les méthodes traditionnelles d'évaluation de projets.

4. SYSTÈMES EXPERTS POUR LA GESTION DES CHAUSSÉES

4.1 Principaux secteurs d'activité de gestion des chaussées

Des sommes d'argent très considérables sont dépensées annuellement partout dans le monde tant sur le plan urbain que rural pour conserver au réseau routier ses caractéristiques qui permettent une utilisation sécuritaire, confortable et économique. Au Québec, au-delà d'un demi-milliard est consacré chaque année pour l'entretien et la réhabilitation du réseau routier provincial qui compte quelque 60 000 kilomètres de routes majoritairement en milieu rural [13]. Des ressources importantes sont aussi dépensées annuellement par les municipalités du Québec pour maintenir le réseau de quelques 60 000 kilomètres de rues.

Pour gérer cet effort gigantesque de conservation du réseau les administrations provinciales et les plus grandes municipalités appliquent des méthodes et des procédures standardisées et systématiques. Bien que les systèmes de gestion varient d'une administration à l'autre dans leurs niveaux de détail, de sophistication ou d'automatisation on y retrouve les mêmes soucis qui se traduisent par les mêmes grands secteurs d'activités principales. La définition suivante circonscrit l'essentiel d'un système de gestion des chaussées (ou de gestion routière):

> "Un système de gestion routière comprend donc un éventail complet des activités dans la planification des investissements, le design, la construction, l'entretien et l'évaluation périodique du comportement. Les niveaux de gestion impliqués comprennent tant ceux qui sont responsables des décisions ayant trait à la politique et aux orientations pour un ensemble de projets, que ceux responsables de la mise en pratique et des décisions particulières d'un projet spécifique. Le rôle de la gestion à tous les niveaux est de comparer les options, de coordonner les activités, de prendre les décisions qui s'imposent et de voir à leur mise en application d'une manière efficace et économique" [14].

Cette définition implique, tout d'abord, l'existence de deux niveaux de préoccupations dans la gestion des chaussées: celui qui concerne le réseau dans son ensemble et un autre niveau rattaché à chaque projet spécifique. Ensuite à l'intérieur de chaque niveau on retrouve cinq grands secteurs d'activités : la planification/programmation, le design, la construction, l'entretien et l'évaluation. Enfin les activités de gestion des chaussées sont de trois types différents : prise de décision, coordination et mise en application. La Figure 1 illustre cette classification.

La classification ci-haut des activités de gestion des chaussées impliquée par la définition du "Guide de gestion routière" est essentiellement la même avec celle du rapport 215 du NCHRP. On y retrouve les deux niveaux de préoccupations (réseau vs projet) recoupés par trois types d'activités: cueillette et traitement de données, analyse de données (et prise de décision) et finalement, exécution des travaux. La différence entre les deux classifications se situe sur le recoupage par secteur.

L'approche du NCHRP est plutôt théorique puisqu'on retrouve rarement d'organismes ayant fusionné sur le plan de gestion des chaussées l'administration de la planification avec celle de la construction, du design et de l'entretien. Ces secteurs sont administrés séparément dans la très grande majorité des organismes responsables de la gestion des chaussées en Amérique du Nord, dont le ministère des Transports du Québec (MTQ).

Le plan d'organisation administrative du MTQ répartit en fait la gestion des chaussées en trois directions générales et deux directions directement rattachées au bureau du sous-ministre. Ce sont les directions générales du Génie, des Opérations et de l'Administration et les directions de la Programmation et de la Recherche. L'annexe A fait état de cette répartition et décrit les tâches confiées aux diverses unités administratives.

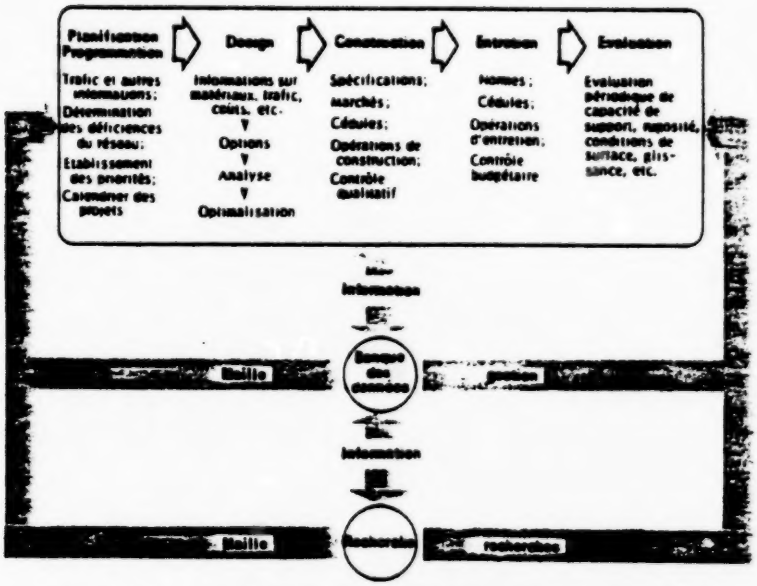


FIGURE 1 PRINCIPAUX SECTEURS D'ACTIVITÉ D'UN SYSTÈME DE GESTION ROUTIÈRE

Source : Ref. [7]

Au Ministère des tramsports du Québec, l'exécution et la surveillance des travaux sont confiées exclusivement aux unités administratives décentralisées (régions et districts). La prise de décision au niveau d'un projet (établir sa priorité, faire le design) est partagée entre les régions et les districts et les services centraux qui agissent au niveau d'un expert-conseil. La prise de décision sur les dépenses par programme est partagée entre les services centraux et les régions et districts qui proposent et justifient les projets à inclure dans un programme donné. La coordination a une forte composante locale et régionale lorsqu'il s'agit d'un projet spécifique. Toutefois elle devient une préoccupation centrale lorsqu'il s'agit de la coordination d'un programme.

4.2 Champs d'applicabilité des systèmes experts

4.2.1 Planification et Programmation

Dans le secteur Planification/Programmation se retrouvent les activités d'analyse de données routières de détermination des déficiences du réseau, de l'établissement des priorités et de l'élaboration d'un programme des travaux à réaliser. L'analyse de données et l'établissement des priorités semblent propices à une application des systèmes experts parce qu'elles exigent un jugement technique. Par contre, les deux autres activités consistent à appliquer des procédures bien définies comme la comparaison entre l'état d'une section routière et les standards prescrits (pour déterminer les déficiences du réseau) ou la comparaison entre les besoins et les disponibilités budgétaires (pour l'élaboration des programmes).

L'analyse de données routières a pour but de diagnostiquer l'état de la chaussée sur une section donnée de la route. Si cet état est jugé détérioré, alors on établit les causes ou les mécanismes responsables de la dégradation. L'exercice d'un jugement expert se situe ici au niveau du diagnostic de la détérioration à partir d'un nombre restreint de données sur les manifestations de dégradation de surface, de l'historique des interventions passées sur la section, si disponible, et d'autres relevés techniques (mesures de la capacité structurale) s'il le faut. La référence [15] décrit la pratique courante en ce qui concerne le relevé et l'utilisation des données sur l'état de la chaussée.

Il arrive souvent que le revêtement masque les causes de sa dégradation qui peuvent se trouver dans les couches inférieures de la chaussée ou au niveau de l'infrastructure de la route. Le problème à résoudre est comment augmenter la probabilité d'un jugement correct sur les causes de la détérioration avec une quantité donnée d'informations sur l'état de la chaussée. Ce type d'inférence nécessite des connaissances sur les relations causales et associatives entre les manifestations de dégradation environnementaux, topographiques et d'utilisation de la section ainsi que des informations relatives aux matériaux et aux méthodes de construction de la chaussée.

Etablir la cause de la détérioration de la chaussée permet de déterminer le correctif ou le traitement approprié à administrer sur la route. Les coûts d'un mauvais choix sur le correctif peuvent être considérables si on identifie par erreur une cause importante (dégradation structurale) et on administre un traitement coûteux (ex: reconstruction) ou si on classe une situation dans une catégorie de moindre urgence qu'en réalité, permettant ainsi une détérioration de sa condition.

L'identification de causes responsables de la dégradation s'effectue d'une façon décentralisée par le personnel du district à l'aide d'un manuel technique [16] qui définit les dégradations superficielles des chaussées et donne leurs causes et leurs correctifs possibles. Bien que plusieurs informations pertinentes soient incluses dans le manuel pour permettre l'identification des causes d'une dégradation on peut faire l'hypothèse qu'un expert muni d'un manuel peut faire mieux qu'un novice avec le même document. La raison en est que toutes les connaissances, inférences ou associations nécessaires pour identifier les causes ne sont pas incluses habituellement dans un manuel. Dans la mesure où on ne peut pas envoyer un expert partout sur le réseau routier les diagnostics sont effectués par du personnel moins expérimenté impliquant dans certains cas des jugements plus ou moins exacts sur l'état et les causes de dégradation.

Pour ces raisons le diagnostic des causes responsables de la dégradation de la chaussée est une des applications des systèmes experts les plus indiqués dans le domaine de la gestion des chaussées. Au moins deux systèmes experts de ce type se trouvent dans un stade avancé de développement [17,18]. D'autres sont en état de conception et d'essai préliminaire. En annexe B nous présentons un tel essai. Son but est de transcrire en forme d'un système expert une partie du manuel technique utilisé par le personnel de district du Ministère des Transports du Québec pour identifier les causes des dégradations superficielles des chaussées.

L'établissement des priorités est une autre activité de classement qui exige l'utilisation d'un bon jugement technique. Il s'agit de bien prévoir les conséquences d'un retardement à l'application d'une intervention préventive ou corrective sur la chaussée et de classer le projet selon l'urgence ou la désirabilité de sa réalisation. Une prévision erronnée peut avoir les mêmes conséquences de gaspillage des fonds publics qu'une mauvaise décision sur la cause de la dégradation. La référence [19]

qui fait état de connaissances au niveau des implications d'un report sur l'intervention d'entretien ou de réhabilitation nécessaire souligne le besoin d'effectuer des recherches dans cette direction.

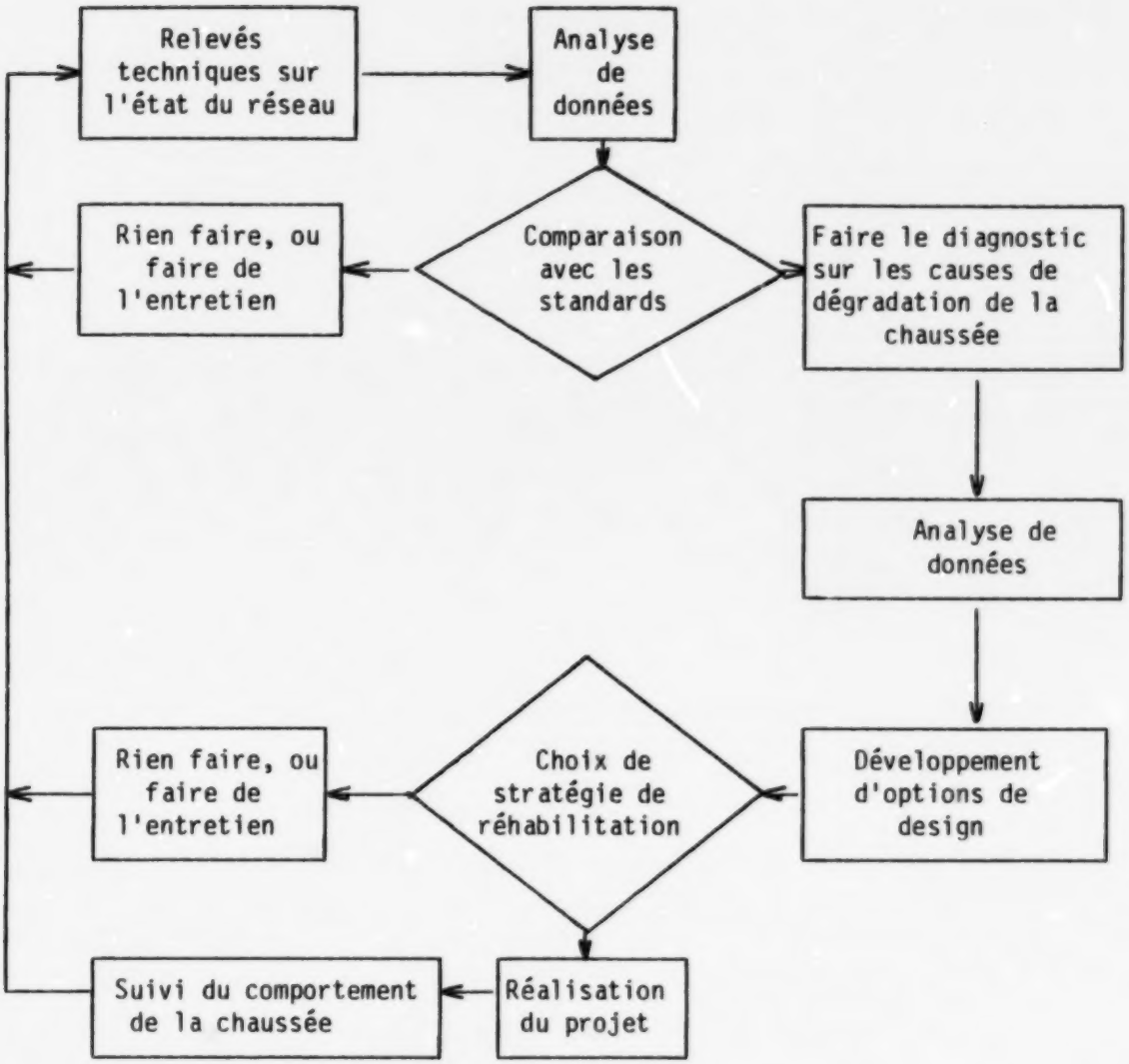
Toutefois, l'expertise dans ce domaine, si elle existe, est difficile à localiser puisqu'il arrive que d'autres critères moins techniques, variables et d'application non-uniforme sont utilisés dans la pratique de l'établissement des priorités. Dans ce domaine l'expertise technique est donc souvent noyée dans le bon sens de la gestion quotidienne.

4.2.2 Design

La Figure 2 montre le cadre à l'intérieur duquel s'inscrit le secteur design de la chaussée. La conception d'une nouvelle chaussée ou la réhabilitation d'une chaussée existante impliquent la collecte et l'analyse/évaluation des informations relatives au projet à réaliser et le développement des options de design y compris leur analyse et leur optimisation.

Pour le développement, l'analyse et l'optimisation des options de design, on peut utiliser un certain nombre de techniques et procédures. Elles varient d'un organisme à l'autre et elles couvrent toute la gamme entre les méthodes complètement empiriques et des méthodes théoriques. La référence [21] décrit les méthodes les plus utilisées dans la pratique du dimensionnement des chaussées flexibles.

Figure 2: Cadre général pour l'entretien et la réhabilitation des chaussées



Source : Ref. [20]

L'application des recommandations de ces méthodes exige toujours l'exercice d'un jugement dont l'importance varie avec l'ampleur et la complexité du projet à réaliser. La solution de design est souvent confrontée aux conditions climatiques (précipitation, humidité, variations de température, cycles de gel-dégel, etc.) à la nature et les propriétés physiques du sol, aux propriétés des matériaux qui seraient utilisés pour la construction ou la réhabilitation, au comportement passé des chaussées semblables dans la même région, etc.

Dans les grands organismes responsables de la construction et de la réhabilitation du réseau routier les cas les plus impliqués de design sont confiés à des experts du domaine. Au Ministère des transports du Québec, cette tâche revient au service des sols et chaussées de la direction générale du génie. Une des activités de ce service, notamment l'étude de réfection de chaussée pourrait faire le champ d'application des systèmes experts.

Pour répondre aux besoins des programmes d'amélioration du réseau routier et à la demande des directions générales et des districts cette activité consiste à effectuer des études de réfection de chaussées au moyen de relevés visuels, des mesures au roulemètre et au déflectomètre ainsi que des forages mécaniques ou des puits d'exploration pour permettre d'identifier les causes des problèmes de comportement de la chaussée et d'émettre des recommandations appropriées pour sa réfection.

Les principales étapes de l'activité sont l'ouverture du dossier, l'accusé de réception, l'analyse des données existantes, la demande de sondage à la division travaux en chantier, les sondages et expertises en chantier, l'expédition des échantillons de sol au laboratoire central pour essais et analyses, la compilation des résultats, l'interprétation des résultats et les calculs, la préparation du plan et du rapport et l'expédition du rapport au demandeur.

En plus de remplir les critères d'applicabilité des systèmes experts cette activité, par la richesse de sa documentation (résultats d'observations, sondages, essais de laboratoire, interprétations de données, rapports,etc) permet de capter plus facilement l'expertise du domaine de design dans le cas de la prescription des traitements pour la réhabilitation des chaussées. La Figure 3 donne un aperçu de la forme et du contenu de cette documentation. Le système expert à développer dans ce contexte peut être considéré complémentaire à celui déjà proposé pour le diagnostic des causes de dégradation superficielles des chaussées.

4.2.3 Construction

Les principales activités du secteur construction sont la rédaction des spécifications, la préparation des documents contractuels, l'élaboration des cédules pour l'exécution des travaux, la surveillance des opérations de construction et le contrôle qualitatif. Ces activités sont régies par les règles et procédures énoncées dans le document "Cahier des charges et devis généraux" [22], un document volumineux qui sert de référence aux contrats de construction routière.

Le besoin de recourir à un expert pour l'interprétation du Cahier des charges et devis généraux croît avec l'ampleur des travaux de construction. La sécurité au chantier et la qualité des travaux dépendent de l'application des règles et procédures incluses dans ce document. Un accès rapide aux articles pertinents du "cahier" ainsi que l'interprétation informée et uniforme de ces articles serait de grande utilité pour le personnel surveillant et pourrait avoir des retombées considérables sur la sécurité et la qualité des travaux.

Ministère des Transports
Direction expertises et normes
Service des sols et chaussées

PROGRAMME DE COUCHES D'USURE ET RENFORCEMENTS

REGION: 04 N.D.: 22 (742) 002 ANNEE: 85-86

LOCALISATION				ESSAIS		J.M.A.	LONGUEUR	OBSERVATIONS VISUELLES ET REMARQUES	TRAITEMENT RECOMMANDE
ROUTE	Tr.	Sect.	MUNICIPALITE	DIR.	PORTANCE $\bar{x}_c + 2\sigma$		Km	PROFONDEUR DE GEL: 168 cm PROFONDEUR DE DEGEL: 12 cm	
159	01	007	Ste-Anne de la Pérade	Nord Sud	161 164	1680	0.9	Relevé d'hiver (84-03-21): Le secteur sous étude affiche une fissuration polygonale multiple ainsi que du carrelage dans les ornières. Celles-ci sont relativement prononcées et affectent le roulement. Relevé d'été: La fissuration est peu ouverte dans l'ensemble. Par contre le roulement estival demeure pauvre. Le drainage est généralement peu efficace. La capacité de support dans ce secteur est très faible compte tenu du taux de circulation relativement élevé (accès à l'autoroute 40).	- Pose d'une couche de correction. - Pose d'un mélange ouvert au taux de 140 kg/m². - Pose d'une couche de surface au taux de 110 kg/m². - Amélioration du drainage.

Figure 3 : Extrait d'un rapport d'expertise sur la réfection d'une chaussée.

On pourrait atteindre ces objectifs par l'informatisation du Cahier des charges et devis généraux. Sa structure grammaticale ou syntaxique est appropriée pour son codage en termes de règles de production (voir section 2.2). Ainsi ce document pourrait être converti à une base de connaissances se prêtant plus efficacement à la consultation.

Un autre avantage qui découlerait du codage du Cahier des charges et devis généraux en termes d'une base de connaissances pourrait être la possibilité d'effectuer des vérifications de cohérence interne (existence des règles conflictuelles) lors de sa mise à jour pour l'amendement d'un règlement ou l'ajout d'un règlement nouveau.

4.2.4 Entretien

Le secteur d'entretien comprend l'élaboration de normes de performance pour les divers travaux d'entretien routier, la préparation de cédules pour l'exécution de ces travaux par les équipes d'entretien, la surveillance et l'exécution des travaux et le contrôle budgétaire pour l'ensemble d'opérations.

Dans ce domaine on trouve de nouveau la structure normative du Cahier des charges et devis généraux, c'est-à-dire un ensemble volumineux de règles et de procédures à appliquer et dont l'interprétation dépend de l'expérience du personnel surveillant (voir Fig.4). Les opérations dans ce domaine sont relativement simples et variées et bien que certains contremaîtres soient meilleurs que d'autres on ne retrouve pas d'experts reconnus dans le secteur d'exécution des travaux d'entretien.

Bien que l'applicabilité d'un système expert dans ce domaine ne soit pas évidente, il serait toutefois souhaitable de transcrire les normes de performance pour les opérations d'entretien en termes, par exemple, de règles de production pour constituer une base de connaissances permettant une cosultation efficace. On peut en escompter des retombées intéressantes pour la productivité des opérations d'entretien.

Figure 4: **NORME DE RENDEMENT D'ENTRETIEN**

NORMES DE RENDEMENT D'ENTRETIEN

ACTIVITÉ : _____

CODE D'ACTIVITÉ : _____

DATE EN VIGUEUR : _____

DESCRIPTION ET BUT :

Rapiéçage des surfaces du revêtement et des accotements avec des mélanges commerciaux ou préparés en usine.

Détériorations associées incluses :

— surfaces bitumineuses : nid-de-poule, soulèvements, fissures, arrachement
— surfaces de béton de ciment : écaillage, éclatement

NORMES DE RENDEMENT :

Catégorie du programme de travail : Routinier — illimité
Responsable de l'accomplissement du travail : contremaître
Catégorie de contrôle qualificatif : illimité
Période d'attention accrue : printemps et automne

MAIN D'ŒUVRE, MATÉRIEL, MATÉRIAUX	MÉTHODE DE TRAVAIL
Équipe, incluant les signaleurs : 1 conducteur/journalier 1 journalier 1* signaleur * Adapter au trafic **Matériel :** Description — Nombre Camion 3t — 1 Réchaud à bitume — 1 **Matériau :** 01 — Mélange chaud ou froid Divers — Enduit d'accrochage	1. Placer matériel de sécurité et enseignes 2. Dresser et nettoyer les trous et dépressions 3. Enduire les côtes et le fond des trous 4. Remplir les trous et égaliser 5. Compacter avec une dame ou avec une roue de camion 6. Poser la couche de surface 7. Égaliser et compacter

PRODUCTIVITÉ	UNITÉ DE TRAVAIL
Production quotidienne : 3.0 à 4.5 tonnes	Tonne de mélange

Source: [7]

4.2.5 Évaluation

L'évaluation des chaussées comprend l'établissement de sections de contrôle, l'obtention périodique de valeurs sur la capacité portante de la chaussée, la rugosité, la condition de surface, la glissance, la circulation, etc. Les données recueillies servent aux autres secteurs de gestion des chaussées.

Par la variété d'instruments spécialisés qu'il utilise pour faire l'auscultation de chaussées ce secteur présente des possibilités pour l'application des systèmes experts. L'expertise à capter se trouve soit au niveau de la calibration de l'appareil pour assurer la validité de mesures prises soit au niveau du design de l'enquête et de sa modification dynamique basée sur l'interprétation continue de résultats des essais.

Un point de départ dans ce contexte pourrait être l'application des systèmes experts à l'évaluation de la capacité portante d'une chaussée flexible. Lorsque par exemple on utilise pour effectuer les essais de portance un appareil du type Dynaflect on obtient des mesures des déflexions verticales qui se produisent en cinq points de la surface du revêtement suite à l'application d'une force cyclique d'intensité et de fréquence connues, appliquée à la chaussée par l'intermédiaire de deux roues d'acier (voir Fig. 5).

L'utilisation de cet appareil nécessite une calibration qui exige une certaine familiarité avec les essais et qui pourrait être rendue plus aisée par l'application de l'informatique [23]. Par ailleurs l'interprétation des mesures prises nécessite une bonne connaissance de la chaussée, de ses couches, des propriétés du sol où elle repose, etc. Des subtilités, dans la forme de la courbe qui décrit le bassin de déflexion, nécessitent une interprétation d'expert pour identifier et diagnostiquer les problèmes de structure ou de fondation

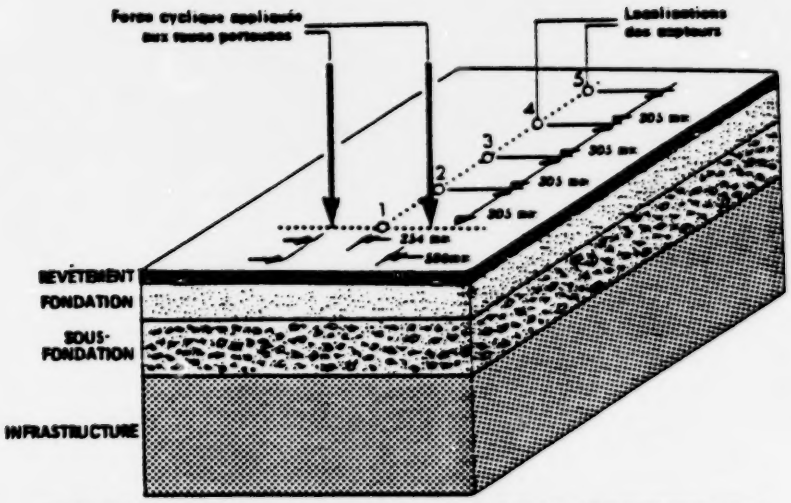


FIGURE 5 : LOCALISATION DES ROUES PORTEUSES ET DES CAPTEURS DE DÉFLEXION SUR UN APPAREIL DYNAFLECT

Source: [7]

Actuellement, la prise et l'analyse de données s'effectue à deux endroits différents et éloignés avec un décalage de temps considérable. Cela implique que dans certains cas après analyse de relevés, il faut retourner au même endroit pour prendre des mesures supplémentaires. Le développement d'un système expert dans ce contexte pourrait rendre l'appareil de prise de données "intelligent" dans le sens où il suggérerait en "temps réel" la localisation de la prochaine mesure à prendre.

5. CONCLUSIONS

Le présent rapport a été motivé par l'intérêt général qui existe actuellement relativement aux systèmes experts et aux possibilités de leurs applications en particulier dans le domaine des transports. Le rapport fait état des possibilités d'application des systèmes experts dans la gestion des chaussées.

La gestion des chaussées comprend un nombre important d'activités dont plusieurs ont un caractère procédural et par conséquent ne présentent qu'un intérêt limité pour l'application des systèmes experts. Toutefois, dans certains cas il serait souhaitable d'informatiser ces procédures par leur transcription en forme d'une base de connaissances. C'est notamment le cas du "Cahier des charges et dévis généraux" de construction routière et des "Normes" pour les opérations d'entretien.

Parmi les activités de gestion des chaussées qui exigent un recours à l'expert, ce rapport retient la démarche diagnostique pour identifier les causes et les traitements des dégradations de la chaussée et les activités reliées à l'utilisation des appareils d'auscultation des chaussées comme les activités les plus indiquées à une application immédiate des systèmes experts.

LISTE DES RÉFÉRENCES

[1] Transports Canada. Proceedings of the Workshop on the Application Expert Systems to Transportation, Montréal, Sept. 12, 1985. Research and Development Directorate, Ottawa, December 1985, p. 3.

[2] Transports Canada. Expert Systems : Their Application in the Canadian Transportation Sector. Research and Development Directorate, Ottawa, January 1986.

[3] Kulash, D.J. and W.A. Hyman. "Future Demand for Transportation Professionals : The Outlook for Civil Engineers in State Departments of Transportation." Conference on Transportation Education Issues, Williamsburgh, Virginia, 1984.

[4] Yeh, Che-I, Stephen G. Ritchie, Jerry B. Schneider and Nancy L. Nihan. "Knowledge-Based Expert Systems in Transportation Planning and Research : An Initial Assessment. Submitted for publication to the Transportation Research Board, August, 1985.

[5] Tsiang, Daniel and Claude Frasson. "A Brief Overview of Expert Systems and Knowledge Bases". Document de travail #154, Département d'informatique et de recherche opérationnelle, Université de Montréal, octobre 1984.

[6] Forsyth, Richard. Expert Systems, Principals and Case Studies. Chapman and Hall Computing, London. 1984.

[7] Association des routes et transports du Canada. "Guide de gestion routière". Edition Agence d'Arc Inc., Montréal, 1978.

[8] Hudson, W.R., Ralph Haas and R. Daryl Pedigro. "Pavement Management System Development", National Cooperative Highway Research Program, Report 215, Washington, D.C., November 1979.

[9] Ganascia, Jean-Gabriel. "La conception des systèmes experts". La Recherche No. 170, octobre 1985, pp. 1142-1148.

[10] Castro, Christophe. "Comment les machines deviennent savantes". Sciences et Avenir Numéro Spécial sur les Intelligences Artificielles, No. 53, pp. 52-56.

[11] Bonhomme, James. "Systèmes Experts". Notes de cours, Département de Génie Industriel, Ecole Polytechnique de Montréal, avril 1986.

[12] Fagot Largeault, Anne. "La simulation du raisonnement médical". La Recherche No 170, octobre 1985, p. 1122.

[13] Charland Jacques. "Gestion du réseau routier: bilan et perspectives d'avenir". Routes et Transports, vol. XVI, no. 2 (été 1986) pp. 32-38.

[14] Guide, op. cit. p. 21.

[15] Transportation Research Board. "Collection and Use of Pavement Condition Data". National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice Report 76, Washington, D.C. July 1981.

[16] Ministère des transports du Québec. "Guide de conservation des chaussées". Annexe I: Degradations superficielles des chaussées. Service de la conservation des chaussées. Québec, octobre 1979.

[17] Ritchie, Stephen G., Che-I Yeh, Joe P. Mahoney and Newt Jackson. "Development of an Expert System for Pavement Rehabilitation Decision-Making". Submitted for publication to the Transportation Research Board, August 1985.

[18] Hajek, J.J., G.S. Chang, R.G. Haas and W.A. Phang. "Can Knowledge-Based Expert System Technology Benefit Pavement Maintenance?" Submitted to the Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 1987.

[19] Transportation Research Board. "Consequences of Deferred Maintenance". national Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice, Report 58, Washington, D.C., May 1979

[20] Monismith, C.L. "Pavement Evaluations and Overlay Design: Summary of Methods". Transportation Research Record 700, Washington, D.C. 1979, pp. 78-81.

[21] Transportation Research Board. "Asphalt Overlay Design Procedures". National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice Report 116, Washington, D.C. December 1984.

[22] Ministère des transports du Québec. "Cahier des charges et devis généraux". Québec.

[23] Ministère des transports du Québec. "Guide de l'opérateur de l'appareil Dynaflect". Service des relevés techniques. Québec, 1986.

ANNEXE A

EXTRAIT DU PLAN D'ORGANISATION ADMINISTRATIVE
DU MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC
UNITÉS ADMINISTRATIVES IMPLIQUÉES DANS
LA GESTION DES CHAUSSÉES

1. DIRECTION GÉNÉRALE DU GÉNIE
   1.1 Direction de la planification routière
      1.1.1 Proposer les orientations et les objectifs du Ministère relativement à la gestion du réseau routier ainsi que les stratégies permettant d'atteindre ces objectifs.
      1.1.2 Réaliser la confection des plans et devis de chaussées de routes, pistes et chemins de fer.
   1.2 Direction des sols et matériaux
      1.2.1 Fournir un service d'assistance technique spécialisée auprès des unités administratives impliquées dans la conception, la réalisation et l'entretien des infrastructures de transport.

2. DIRECTION GÉNÉRALE DES OPÉRATIONS
   2.1 Direction de la construction
      2.1.1 Assurer la coordination et le suivi des programmes de construction des infrastructures de transport
      2.1.2 Uniformiser les méthodes d'exécution de surveillance et de contrôle des travaux de construction des infrastructures à l'échelle provinciale

   2.2 Direction de l'entretien
      2.2.1 Assurer la coordination et le suivi des programmes d'entretien et de conservation des infrastructures de transport
      2.2.2 Promouvoir le développement et l'amélioration des méthodes de travail et voir à l'uniformisation des normes techniques d'entretien.

   2.3 Directions régionales
      2.3.1 Identifier les besoins régionaux en matière de services et d'infrastructures de transport et assurer une gestion efficace des projets de construction et d'entretien permettant d'y répondre.
      2.3.2 Assurer l'exploitation des immeubles qui sont sans la juridiction du Ministère.
      2.3.3 Représenter le Ministère auprès des organismes publics et de la population des régions.

2.4 Districts

2.4.1 Identifier les besoins et déterminer les priorités de construction et d'entretien des infrastructures de transport sur son territoire.

2.4.2 Assurer la surveillance des travaux de construction et réaliser la majorité des activités d'entretien des infrastructures.

3. DIRECTION GÉNÉRALE DE L'ADMINISTRATION

3.1 Direction du contrôle budgétaire

3.1.1 Coordonner pour l'ensemble du Ministère, la préparation du budget annuel ainsi que l'allocation des ressources financières et assurer les contrôles budgétaires requis.

3.1.2 Exercer un controle budgétaire en fonction du développement des programmes et des projets du Ministère.

3.2 Direction des contrats et de l'approvisionnement

3.2.1 Assurer l'approvisionnement du Ministère et fournir aux gestionnaires une assistance et un soutien sur toute question relative à l'approvisionnement, à l'adjudication des contrats, aux appels d'offre ainsi qu'à la gestion des ressources matérielles.

3.3 Direction des systèmes de gestion

3.3.1 Fournir le soutien écessaire au développement, à la réalisation, à l'exportation, à l'entretien des systèmes administratifs et scientifiques, à la bureautique, ainsi qu'aux normes et procédés requis pour le fonctionnement efficace des unités administratives en matière de systèmes de gestion.

3.3.2 Elaborer les plans directeurs de l'informatique et de la bureautique.

4. DIRECTION DE LA PROGRAMMATION

4.1 Concevoir et élaborer des politiques globales, des stratégies et des programmes d'ensemble concernant les services et infrastructures de transport.

4.2 Préparer le plan quinquennal d'immobilisation relatif aux équipements et infrastructures dont le Ministère a charge.

5. DIRECTION DE LA RECHERCHE

5.1 Concevoir, implanter et gérer la politique et les programmes d'aide relatifs à la recherche-développement en transport en concertation avec le comité ministériel de recherche-développement en transport et le Conseil de la R-D en transport.

5.2 Réaliser et coordonner des recherches socio-économiques et des études globales reliées aux systèmes de transport.

5.3 Assurer la cohérence du contenu statistique de l'information ministérielle.

ANNEXE B

```
I=========================================;
:                                         :
: DEGRADATIONS SUPERFICIELLES DES         :
: CHAUSSEES FLEXIBLES                     :
:                                         :
H=========================================<
```

by:MICHALIS PEHLIVANIDIS

Press any key to start:

La solution adequate a un probleme d'entretien routier reside pour la plupart dans l'identification des causes qui sont responsables de diverses degradations superficielles de la chaussee. Le systeme expert DSCF ecrit avec le logiciel EXSYS est un outil d'aide a la decision pour le diagnostic de causes possibles de degradations supeficielles de chausses flexibles. DSCF utilise les informations sur les causes des degradations superficielles des chaussees contenues dans l'annexe I du Guide de conservation des chaussees du Ministere des transports du Quebec. Le systeme se trouve actuellement a un stade preliminaire de son developpement et est utilise que pour illustrer certains concepts de systemes experts et d'EXSYS.
La base de connaissances du DSCF se compose d'une vingtaine de regles dont les premiers 14 proviennent essentiellement de l'Annexe I, les probabilites ayant ete ajoutes suite a une consultation avec des experts du domaine. Les autres regles sont des relations definitionnelles ou des associations causales. Les differentes causes de degradation sont regroupees sous le rubrique CHOICES. Les exemples de consultation illustrent des inferences tres simples executees par le systeme expert.

Press any key to start:

BASE DE CONNAISSANCES

RULES:

RULE NUMBER: 1

IF:
la degradation est trou ou nid de poule

THEN:
mauvais drainage - Probability=2/10
and melange inapproprie ou mauvaise mise en place - Probability=4/10
and mauvaise compaction - Probability=4/10

RULE NUMBER: 2

IF:
la degradation est ondulation et deplacement

THEN:
charges lourds excessives - Probability=3/10
and melange inapproprie ou mauvaise mise en place - Probability=7/10

RULE NUMBER: 3

IF:
la degradation est soulevement

THEN:
mauvais drainage - Probability=2/10
and resultat d'action de gel - Probability=8/10

RULE NUMBER: 4

IF:
la degradation est ornierage

THEN:
charges lourds excessivès - Probability=1/10
and mauvais drainage - Probability=2/10
and capacite de support insuffisante - Probability=2/10
and melange inapproprie ou mauvaise mise en place - Probability=2/10
and mauvaise compaction - Probability=3/10

RULE NUMBER: 5

IF:
la degradation est depression

THEN:
capacite de support insuffisante - Probability=8/10
and mauvaise compaction - Probability=2/10

RULE NUMBER: 6

IF:
la degradation est desenrobage

THEN:
melange inapproprie ou mauvaise mise en place - Probability=7/10
and mauvaise compaction - Probability=3/10

RULE NUMBER: 7

IF:
la degradation est oxydation

THEN:
melange inapproprie ou mauvaise mise en place - Probability=7/10
and autres causes - Probability=3/10

RULE NUMBER: 8

IF:
la degradation est ressuage

THEN:
melange inapproprie ou mauvaise mise en place - Probability=9/10
and autres causes - Probability=1/10

RULE NUMBER: 9

IF:
la degradation est fissure transversale

THEN:
mauvaise compaction - Probability=1/10
and resultat d'action de gel - Probability=5/10
and fissure de reflexion - Probability=4/10

RULE NUMBER: 10

IF:
la degradation est fissure de centre

THEN:
mauvais drainage - Probability=2/10
and melange inapproprie ou mauvaise mise en place - Probability=6/10
and resultat d'action de gel - Probability=2/10

RULE NUMBER: 11

IF:
la degradation est fissure longitudinale

THEN:
charges lourds excessives - Probability=8/10
and autres causes - Probability=2/10

RULE NUMBER: 12

IF:
la degradation est fissure laterale

THEN:
mauvais drainage - Probability=2/10
and capacite de support insuffisante - Probability=6/10
and resultat d'action de gel - Probability=1/10
and autres causes - Probability=1/10

RULE NUMBER: 13

IF:
la degradation est lezarde

THEN:
mauvais drainage - Probability=7/10
and mauvaise compaction - Probability=2/10
and resultat d'action de gel - Probability=1/10

RULE NUMBER: 14

IF:
la degradation est fissuration polygonale

THEN:
charges lourds excessives - Probability=3/10
and mauvais drainage - Probability=2/10
and capacite de support insuffisante - Probability=4/10
and melange inapproprie ou mauvaise mise en place - Probability=1/10

RULE NUMBER: 15

IF:
l'etat du drainage est bon

THEN:
mauvais drainage - Probability=0/10

RULE NUMBER: 16

IF:
la degradation est trou ou nid de poule
and l'entretien passe etait pas d'entretien

THEN:
la degradation est lezarde

RULE NUMBER: 17

IF:
l'entretien passe etait amelioration du drainage

THEN:
l'etat du drainage est bon

RULE NUMBER: 18

IF:
l'intensite du trafic est faible

THEN:
charges lourds excessives - Probability=0/10

RULE NUMBER: 19

IF:
l'entretien passe etait renforcement

THEN:
capacite de support insuffisante - Probability=0/10

RULE NUMBER: 20

IF:

l'entretien passe etait reconstruction

THEN:

capacite de support insuffisante - Probability=0/10

QUALIFIERS:

1 la degradation est

trou ou nid'de poule
ondulation et deplacement
soulevement
ornierage
depression
desenrobage
oxydation
ressuage
fissure transversale
fissure de centre
fissure longitudinale
fissure laterale
lezarde
fissuration polygonale

Used in rule(s): 1 2 3 4 5 6
7 8 9 10 11 12
13 14 16 (16)

2 l'entretien passe etait

pas d'entretien
sceller les fissures
rapiecage manuel
traitement de surface
couche d'usure
renforcement
reconstruction
amelioration du drainage
inconnu

Used in rule(s): 16 17 19 20

3 l'etat du drainage est

bon
inconnu

4 l'intensite du trafic est

faible
forte
inconnue

Used in rule(s): 18

CHOICES:

1 charges lourds excessives

Used in rule(s): (2) (4) (11) (14) (18)

2 mauvais drainage

Used in rule(s): (1) (3) (4) (10) (12) (13)
(14) (15)

3 capacite de support insuffisante

Used in rule(s): (4) (5) (12) (14) (19) (20)

4 melange inapproprie ou mauvaise mise en place

Used in rule(s): (1) (2) (4) (6) (7) (8)
(10) (14)

5 mauvaise compaction

Used in rule(s): (1) (4) (5) (6) (9) (13)

6 resultat d'action de gel

Used in rule(s): (3) (9) (10) (12) (13)

7 fissure de reflexion

Used in rule(s): (9)

8 autres causes

Used in rule(s): (7) (8) (11) (12)

CONSULTATIONS

```
Press any key to start:

la degradation est
     1   trou en nid de poule
     2   undulation et deplacement
     3   soulevement
     4   ornierage
     5   depression
     6   desenrobage
     7   oxydation
     8   ressuage
     9   fissure transversale
     10  fissure de centre
     11  fissure longitudinale
     12  fissure laterale
     13  lezarde
     14  fissuration polygonale
1
```

```
DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD
Enter number(s) of value(s), WHY for information on the rule,
 <ESC> for edit mode or <H> for help

l'entretien passe etait
     1   pas d'entretien
     2   sceller les fissures
     3   rapiecage manuel
     4   traitement de surface
     5   couche d'usure
     6   renforcement
     7   reconstruction
     8   amelioration du drainage
     9   inconnu
9
```

```
DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD
Enter number(s) of value(s), WHY for information on the rule,
 <ESC> for edit mode or <H> for help

l'intensite du trafic est
     1   faible
     2   forte
     3   inconnue
3
```

```
DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD
Enter number(s) of value(s), WHY for information on the rule,
 <ESC> for edit mode or <H> for help

l'etat du drainage est
     1   bon
     2   inconnu
2
```

DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD

Enter number(s) of value(s), WHY for information on the rule,
<ESC> for edit mode or <H> for help

Les causes possibles sont:

Press any key to display results:

	Values based on 0 - 10 system	VALUE
1	melange inapproprie ou mauvaise mise en place	4
2	mauvaise compaction	4
3	mauvais drainage	2

Press Any Key to display results

La degradation est
1 trou ou nid de poule
2 ondulation et deplacement
3 soulevement
4 ornierage
5 depression
6 desenrobage
7 Oxydation
8 ressuage
9 fissure transversale
10 fissure de centre
11 fissure longitudinale
12 fissure laterale
13 lezarde
14 fissuration polygonale
1

Enter number(s) of value(s), WHY for information on the rule,
<ESC> for edit mode or <H> for help

L entretien passe etait
1 pas d entretien
2 sceller les fissures
3 replecage manuel
4 traitement de surface
5 couche d usure
6 renforcement
7 reconstruction
8 amelioration du drainage
9 inconnu
1

Enter number(s) of value(s), WHY for information on the rule,
ESC for edit mode or H for help

L intensite du trafic est
1 faible
2 forte
3 inconnue

Enter number(s) of value(s), WHY for information on the rule,
ESC for edit mode or H for help

L etat du drainage est
1 bon
2 inconnu

DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD

Enter number(s) of value(s), WHY for information on the rule,
<ESC> for edit mode or <H> for help

Les causes possibles sont:

Press any key to display results:

	Values based on 0 - 10 system	VALUE
1	mauvais drainage	4
2	melange inapproprie ou mauvaise mise en place	4
3	mauvaise compaction	3
4	resultat d'action de gel	1

```
All choices (A), only if value-1 (O), Print (P), Change and rerun (C),
rules used (the number), Help (H), Done (D):

la degradation est
     1   trou ou nid de poule
     2   ondulation et deplacement
     3   soulevement
     4   ornierage
     5   depression
     6   desenrobage
     7   oxydation
     8   ressuage
     9   fissure transversale
     10  fissure de centre
     11  fissure longitudinale
     12  fissure laterale
     13  lezarde
     14  fissuration polygonale
1
```

```
Enter number(s) of value(s), WHY for information on the rule,
  (ESC) for edit mode or (H) for help

l entretien passe etait
     1   pas d entretien
     2   sceller les fissures
     3   rapiecage manuel
     4   traitement de surface
     5   couche d usure
     6   renforcement
     7   reconstruction
     8   amelioration du drainage
     9   inconnu
1
```

```
Enter number(s) of value(s), WHY for information on the rule,
  (ESC) for edit mode or (H) for help

l intensite du trafic est
     1   faible
     2   forte
     3   inconnue
2
```

```
Enter number(s) of value(s), WHY for information on the rule,
  (ESC) for edit mode or (H) for help

. etat du drainage est
     1   bon
     2   inconnu
1
```

Enter number(s) of value(s), WHY for information on the rule,
<ESC> for edit mode or <H> for help

Les causes possibles sont:

Press any key to display results:

	Values based on 0 - 10 system	VALUE
1	melange inapproprie ou mauvaise mise en place	4
2	mauvaise compaction	3
3	resultat d'action de gel	1